

## 具有導光裝置的太陽能系統

A solar energy system with photo guide tubes

卓胡誼 黃文川\* 吳春吉

Yi Jwo-Hwu Wen-Chwan Hwang\* Chuen-Chi Wu

崑山科技大學電機系

Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

\* 通訊作者

摘要

本文提出有關追日型太陽能系統的新技術，有助於太陽能的運用與推廣。

Abstracts

In this paper, new technologies for solar tracking systems are proposed. These new technologies make an important step forward for applications of solar energy.

關鍵字：追日型太陽能系統

Keywords: Solar tracking systems

### 一、前言

國際原油價格飆升到每桶六十美元以上，造成國內油、電價格必須調漲的龐大壓力，凸顯國內能源供應完全受制於人的窘境；核四續建以及核一、核二、核三是否延役，還有核廢料如何處理的爭議，也在在顯現核能發電在未來的不確定性；京都議定書的生效，更是明白宣告煤炭高價與限制使用時代的來臨；在二十一世紀，是否能夠掌握充足、廉價、低污染的能源，將是決定一個國家強弱存亡的關鍵！如何使台灣能夠迅速擺脫 97% 以上能源仰賴進口的困境，快速、大幅度提高自產能源的供應量，將是未來數十年內台灣是否有競爭力的首要指標！面對油價高漲、核廢料無法處理、煤炭的使用受到京都議定書限制的局面，位處亞熱帶、四面環海、東北季風強勁的台灣，未來的能源供給應該何去何從？當然是要往太陽能、海洋能以及風能的方向發展！因此，本文針對太陽能，提出有關追日型太陽能系統的新技術，希望能有助於太陽能的運用與推廣。

### 二、先前技術

要使太陽能系統追日的先決條件，是要能夠掌握太陽的軌跡，茲將國內外對太陽軌跡的相關研究簡介如下：

雲林科技大學王教授對於太陽磁偏角(赤緯角)有深入的研究〔1〕並推演出逐時日射量機率模型，可以用來推估逐日或逐時的日射量，對於預估太陽能光電板於某一特定時段的發電量有相當大的幫助，可以使獨立型或併聯型太陽光電能系統做更適當的調度。

中山大學陳教授針對固定式太陽能光電板最佳安裝角度進行研究〔2〕，得知嘉義地區每個月的最佳安裝角度，可供嘉義地區太陽光電板逐月調整仰角的重要參考。

中原大學何教授的研究〔3〕，則提供中壢地區太陽能光電板調整仰角的重要參考，並突顯在不同日照強度下調整負載的效益。

建國技術學院紀教授，則自製追日機構與控制電路〔4〕進行實際測試，並將追日方法由太陽能光電板推廣到太陽能熱水器〔5〕。

Walraven 的研究〔6〕，首先提出太陽位置的計算公式，但是透過時區等各種換算，顯得較為麻煩，而且只適用於北半球。

Braun 和 Mitchell 的研究〔7〕，則著重於推導出不同追日模式的方位角及仰角，但卻不適用於熱帶地區。

至於 Cucumo 等人的研究〔8〕，則將以上兩篇的公式，修正成可以適用於任何緯度的公式。

因為台灣位於北半球，而且屬於亞熱帶而非熱帶，故上述三篇論文的公式都適用於台灣，但是以上三篇論文個別以不同符號提出部份計算公式，令有意研究者必須來回穿梭於不同論文與不同符號之間，顯得複雜又麻煩，故在作者先前的研究中〔9〕，將上述三篇論文的符號加以統一，並省略一些在台灣地區不必考慮的特殊情況，整理歸納成淺顯易懂的簡單公式。

在掌握太陽的軌跡之後，我們便可以得知，在任何地點，任何瞬間，應該如何調整太陽能系統，使其對準太陽，發揮最高效能。依據國外的研究〔10〕，具追日功能的太陽能光電板，其輸出可比固定式的太陽能光電板增加約 50%，可是，若想增加約 50% 的輸出，就必需使用雙軸追日系統，需要兩個馬達，成本與耗電量都較高。因此，在作者先前的研究中〔11〕，共分析了十種雙軸與單軸追日模式，由實驗結果顯示，因為太陽在一天中最主要的變動是由東往西，所以，採用單軸東西向追日的太陽能光電板，其輸出可比固定式的太陽能光電板增加約 27%，而且只要一個馬達，成本較低，並且因為不需要負擔整個系統的重量，所以較為省能。

此外，因為太陽在一天中，基本上，上午偏東，中午位於中間，下午則偏西，所以，在作者先前的研究中〔11〕，也提出一天調整三次追日模式，只在上午、中午、下午各調整一次，如此可以大幅降低耗電量，但是，由實驗結果顯示，以單軸東西向一天調整三次追日模式的太陽能光電板，其輸出仍然可比固定式的太陽能光電板增加約 22%，在大幅降低耗電量的前提下，效果依然相當不錯。

而台灣大學黃教授，更進一步以平面聚光鏡，發展出集光式太陽光發電追蹤控制系統〔12〕，在小模型測試得知，馬達耗電量約為太陽能光電板發電量的 4.95%。不過，在小模型中使用的是小片太陽能光電板，其重量與模組化後的大片太陽能光電板恐怕有相當的差異，故在採用模組化後的大片太陽能光電板時，馬達耗電量所佔比例應會增加，而聚光後導致陽光並非垂直照射到太陽能光電板，使原本發電 16W 的太陽能光電板，在兩倍聚光後，只發電 31W 而非 32W，也是值得再改進之處。

上述改良雖然頗有成效，但是，因為太陽能光電板的重量相當重，一片可發電 100W 的太陽能光電板約重達 10 公斤，1KW 的系統，再加上支架之後，其重量將超過 100 公斤，如果採用馬達驅動的方式，則增加的發電量可能反而比為了調整所耗費的電量還少。相同的，太陽能熱水器的集熱器在裝滿水後也是非常重，造成目前大多數的太陽光電能系統與太陽能熱水器都採用固定式，不具備追日功能，對太陽能的運用與推廣非常不利。因此，本文的目標在於：研發出不用馬達的太陽能追日系統，完全不用馬達，就可以使太陽能光電板或太陽能熱水器達到追日功能。

### 三、不用馬達的氣囊式太陽能追日系統

為了避免馬達驅動的高成本與高耗能，作者研發出不用馬達的氣囊式太陽能追日系統，其特徵係完全不使用馬達，而是將水注入東水槽或西水槽中，並配合東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，以及角度偵測器，使太陽能系統可以隨太陽的移動而偏轉，藉以提高所吸收之太陽能。作者所研發出不用馬達的氣囊式太陽能追日系統其示意圖如圖一所示，太陽能光電板或太陽能集熱器經由轉軸架設於東氣囊與西氣囊以及支撐結構(圖中未畫出)上，可以往東轉或往西轉，在東氣囊與西氣囊之間，裝設有東氣囊與西氣囊之間的控制閥門。在太陽能光電板或太陽能集熱器的東邊裝設東水槽，東水槽上方裝設東水槽注水控制閥門，可以經由管線(圖中未畫出)把水注入東水槽內，東水槽下方裝設東水槽洩水控制閥門，可以經由管線(圖中未畫出)把水排出東水槽外。在太陽能光電板或太陽能集熱器的西邊裝設西水槽，西水槽上方裝設西水槽注水控制閥門，可以經由管線(圖中未畫出)把水注入西水槽內，西水槽下方裝設西水槽洩水控制閥門，可以經由管線(圖中未畫出)把水排出西水槽外。在轉軸上設有角度偵測器，可偵測目前的角度，藉以判斷要將東氣囊與西氣囊之間的控制閥門開啓或關閉。因為地球每天(24小時)自轉一圈為360度，所以，太陽每

小時大約由東往西移動15度。我們可以設計使定時器每小時開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門一次，使轉軸可以多轉動15度，然後關閉東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，藉以達成使太陽能系統追日的目標。也可以設計使定時器每半小時開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門一次，使轉軸可以多轉動7.5度，然後關閉東氣囊與西氣囊之間的控制閥門。也可以設計使定時器每十五分鐘開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門一次，使轉軸可以多轉動3.75度，然後關閉東氣囊與西氣囊之間的控制閥門。也可以設計使定時器每十分鐘開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門一次，使轉軸(82)可以多轉動度2.5，然後關閉東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，藉以達成使太陽能系統追日的目標。

除了以固定時間固定角度的操控之外，由於國內外對太陽軌跡的研究，已經可以用公式直接計算出任何地點，在任何瞬間的太陽位置(方位角與高度角)，因此，也可以在任何想要操控的瞬間，經由計算太陽的位置，開啓或關閉東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，使太陽能光電板或太陽能集熱器對準太陽。

操作步驟如下:

步驟一:假設最初東水槽裝滿水，西水槽則完全沒有水，東氣囊與西氣囊之間的控制閥門開啓，則因爲重力作用，將使轉軸往東轉到底，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝東。此時，東氣囊內的部分氣體被壓迫流到西氣囊內，將東氣囊與西氣囊之間的控制閥門關閉，使轉軸不能轉動。

步驟二:日出後，將東水槽洩水控制閥門打開，把水完全排出東水槽外。再把西水槽注水控制閥門打開，把西水槽內裝滿水。再把東水槽洩水控制閥門與西水槽注水控制閥門都關閉。

步驟三:當達到第一個設定時間，定時器開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，因西水槽內裝滿水的重力作用，西氣囊內的部分氣體將被壓迫流到東氣囊內，使轉軸慢慢往西轉動，當角度偵測器偵測轉軸已經達到預定的角度時，將東氣囊與西氣囊之間的控制閥門關閉。

步驟四:當達到下一個設定時間，定時器開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，因西水槽內裝滿水的重力作用，西氣囊內的部分氣體將被壓迫流到東氣囊內，使轉軸慢慢往西轉動，當角度偵測器偵測轉軸已經達到預定的角度時，將東氣囊與西氣囊之間的控制閥門關閉。

步驟五:一直重複步驟四，直到日落，轉軸往西轉到底，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝西。

步驟六:將西水槽洩水控制閥門打開，把水完全排出西水槽外。再把東水槽注水控制閥門打開，把東水槽內裝滿水。再把西水槽洩水控制閥門與東水槽注水控制閥門都關閉。開啓東氣囊與西氣囊之間的控制閥門，因東水槽內裝滿水的重力作用，東氣囊內的部分氣體將被壓迫流到西氣囊內，使轉軸往東轉到底，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝東。

步驟七:回到步驟一，繼續下一次的循環。

採用氣囊與馬達驅動有明顯的差別，第一、馬達容量與購置成本和太陽能光電板或太陽能集熱器的大小成正比;但是，大氣囊與小氣囊的成本與太陽能光電板或太陽能集熱器的成本比較，微乎其微。第二、馬達耗電量和太陽能光電板或太陽能集熱器的大小成正比;但是，大氣囊與小氣囊的耗電量，只有開啓或關閉東氣囊與西氣囊之間的控制閥門的固定微小耗電量，與太陽能光電板或太陽能集熱器的大小幾乎無關。第三、若要使太陽能光電板或太陽能集熱器能隨時對準太陽，則馬達驅動次數必須非常頻繁，將使耗電量激增;但是，氣囊內的氣體是慢慢地由一個氣囊流向另一個氣囊，因此，在每次東氣囊與西氣囊之間的控制閥門由開啓到關閉之間，太陽能光電

板或太陽能集熱器也是慢慢地轉動，比較能夠符合使太陽能光電板或太陽能集熱器隨時對準太陽的要求。

因為由日出到日落，太陽的高度角也是隨時間變化，所以，只要將上述轉軸由東西向轉動改變為南北向轉動，將東水槽與西水槽改變為南水槽與北水槽，並將東氣囊與西氣囊改變為南氣囊與北氣囊，就能達到不用馬達，使太陽能光電板或太陽能集熱器的仰角可以隨太陽的高度角變化而改變的功能。

也可以同時裝設東西向轉動以及南北向轉動的轉軸，並同時裝設東水槽與西水槽以及南水槽與北水槽，並同時裝設東氣囊與西氣囊以及南氣囊與北氣囊，就能達到不用馬達，使太陽能光電板或太陽能集熱器的仰角與方位角都可以隨太陽的變化而改變的功能。

#### 四、具有導光裝置的太陽能系統

以上是對追日機構的改良，首創不用馬達驅動的方式，改為利用水槽重力，氣囊制動的方式，使裝置成本與耗能降低。不過，太陽能系統推廣上最大的問題在於：光電板或集熱器太貴。台灣大學黃教授成功發展出集光式太陽光發電追蹤控制系統，在兩倍聚光後，使所需之太陽能光電板數量減少一半，可使裝置成本降低。不過，聚光後導致陽光並非垂直照射到太陽能光電板，使原本發電16W的太陽能光電板，在兩倍聚光後，只發電31W而非32W，而且在聚光時，追日機構必須同時帶動太陽能光電板與聚光鏡，因而造成耗能的增加。作者針對上述缺點進行改良，提出具有導光裝置的太陽能系統，其示意圖如圖二所示，聚光器架設於支撐結構(圖中未畫出)上，以追日機構使聚光器隨時對準太陽，將陽光聚焦，在聚光器焦點接有玻璃光纖等導光裝置，將被聚焦的陽光導引到太陽能光電板或太陽能集熱器附近，再由光投射器將陽光均勻分散投射到太陽能光電板或太陽能集熱器上。

與傳統太陽能追日方式比較，此一方法具有以下優點:第一、傳統太陽能追日方式係將非常重的太陽能光電板或太陽能集熱器轉動對準太陽，造成追日機構成本較高，耗費的能量也較多;本文所提方法則是將非常輕的聚光器轉動對準太陽，而非常重的太陽能光電板或太陽能集熱器則是固定不動，故追日機構成本較低，耗費的能量也較少。第二、傳統太陽能系統若要收集大面積的日光，就必須安裝大面積的太陽能光電板或太陽能集熱器，由於太陽能光電板或太陽能集熱器價格昂貴，因此，造成傳統太陽能系統價格高昂，乏人問津;事實上，陽光可被壓縮，而太陽能光電板的發電量與入射光強度成正比，本文所提方法由聚光器將大面積的陽光壓縮於小面積，故若要收集大面積的日光，只要安裝小面積的太陽能光電板或太陽能集熱器，可以使太陽能系統的價格大幅降低。第三、傳統聚光型太陽能追日方式係將非常重的太陽能光電板或太陽能集熱器以及聚光器一起轉動，造成成本較高，耗費的能量也較多，而且聚光器面積與太陽能光電板或太陽能集熱器面積的比例約為二比一，聚光效果不夠顯著，此外，聚光後照到太陽能光電板或太陽能集熱器的陽光變成斜射，而非垂直，造成效率較差;本文所提方法則是只有轉動非常輕的聚光器，由於玻璃光纖可耐攝氏200度高溫，將可壓縮大量日光，故聚光器面積與太陽能光電板或太陽能集熱器面積的比例可以大幅提高，聚光效果非常顯著，此外，聚光後的陽光，經由導光裝置與光投射器之後，將以垂直方式照射到太陽能光電板或太陽能集熱器，造成效率較高。第四、傳統太陽能系統，必須將太陽能光電板或太陽能集熱器裝設在室外，支撐結構必須考慮颱風等因素，成本較高;本文所提方法可以用玻璃光纖等導光裝置將陽光引到室內，故本文所提方法的太陽能光電板或太陽能集熱器可以裝設在室內，而不必裝設在室外，也不須有仰角，可以水平放置，

故太陽能光電板或太陽能集熱器的支撐結構不必考慮颱風等因素，可降低成本。

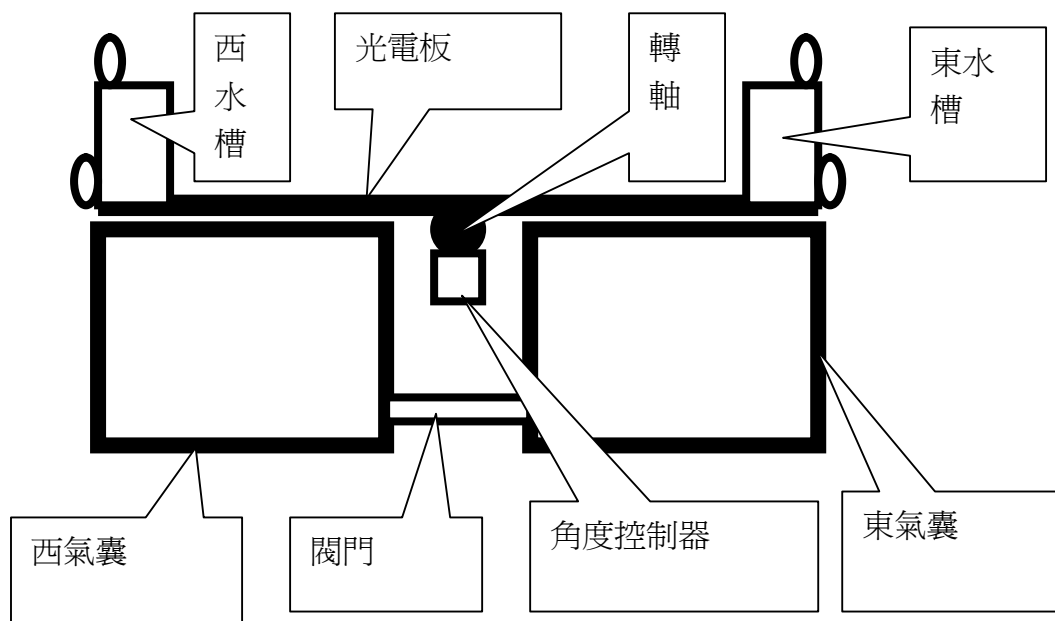
若要收集8平方公尺的陽光，傳統太陽能系統就需要裝設8平方公尺的太陽能光電板或太陽能集熱器，若以一片100W太陽能光電板，面積0.8平方公尺，重量10公斤，單價一萬五千元估算，8平方公尺共需十片的太陽能光電板，十五萬元，非常昂貴，而追日機構必須乘載的重量將超過100公斤。反觀本文所提方法只要裝設一片面積0.8平方公尺的太陽能光電板，以一個面積0.8平方公尺的聚光器，重量0.5公斤，單價三千元估算，追日機構必須乘載的重量將只有10個聚光器的重量，5公斤，比傳統太陽能系統的100公斤少得多。而10個聚光器三萬元，加一片面積0.8平方公尺的太陽能光電板一萬五千元，加導光裝置一萬元，加追日機構兩萬五千元，共計八萬元，比十五萬元便宜46.7%，但是發電量卻能增加約27%。

#### 五、結論

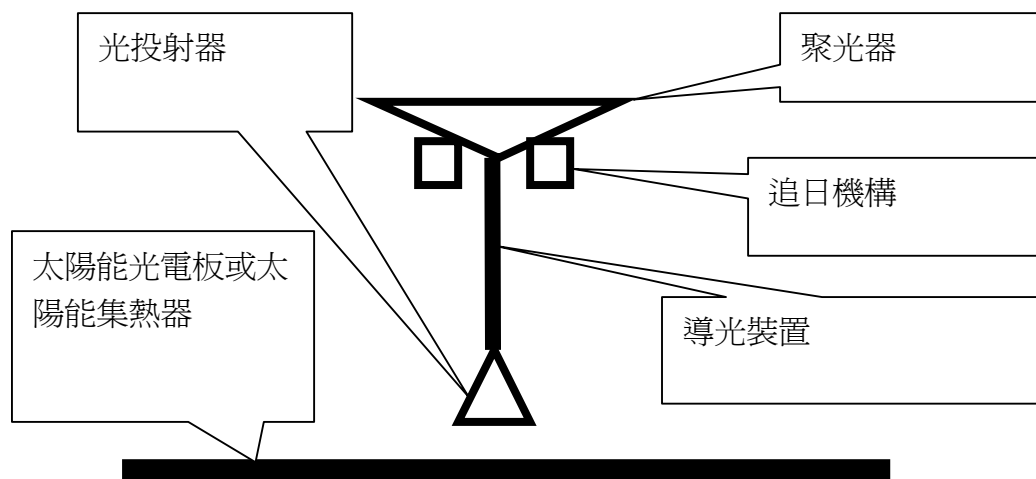
本文提出有關追日型太陽能系統的新技術，在追日機構方面，首創不用馬達驅動的方式，改為利用水槽重力，氣囊制動的方式，使裝置成本與耗能降低。而在太陽能系統方面，則提出具有導光裝置的太陽能系統，追日機構只帶動非常輕的聚光器，可以使耗能降低，若要收集大面積的日光，只要安裝小面積的太陽能光電板或太陽能集熱器，可以使太陽能系統的造價大幅降低，有助於太陽能的推廣與應用。本文相關內容已經申請專利，歡迎相關產業洽談授權合作等相關事宜。

#### 六、參考文獻

1. 李東諭、王耀諄 “日射量機率模型之建立” 中華民國第 21 屆電力研討會 pp. 1231-1235,2000.
2. 吳旭晉、陳耀銘 “固定式太陽能電池最佳安裝角度之研究” 中華民國第 21 屆電力研討會 pp.967-971,2000.
3. 何金滿、包濬璋 “中壢地區太陽光發電系統運轉性能評估” 中華民國第 24 屆電力研討會 pp.419-420,2003.
4. 紀捷聰、鐘明政 “應用太陽能位置站追蹤法提高太陽能板輸出功率之研究”，中華民國第 23 屆電力工程研討會 pp.294-298,2002.
5. 紀捷聰 “太陽能熱水器集熱板之改善暨智慧型追日機構裝置之研究”，中華民國第 24 屆電力研討會 pp.1627-1631,2003.
6. Walraven,R.,” Calculation the Position of the Sun ” ,Solar Energy.20,pp.393-397,1978.
7. Braun, J. E.and Mitchell, J.C .,” Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces” , Solar Energy,31, pp. 439-444, 1983.
8. M.Cucuno , D. Kaliakatsos ,and V. Marinelli, “General Calculation Methods for Solar Trajectories” , Renewable Energy , Vol. 11,No.2,pp.223-234,1997.
9. Jiun-Ming Lin, Ming-Po Li, Sheng-Tse Huang, Hung-Yi Liu, Wun-De Lin, and Yi Jwo-Hwu, 2004, “Study on a solar tracking system: part I: accuracy of the formulas”,Proceeding of the 25th symposium on electrical power engineering, pp. 2148-2153.
10. P.Batlas, M. Tortoreli and P. Russell ,” Evaluation of Power Output for Fixed and Step Tracking Photo -Voltaic” ,Solar Cells,Vol.37, No.2, pp. 147-163,1986.
11. Jiun-Ming Lin, Hung-Yi Liu, Sheng-Tse Huang, Jiun-Ming Lin, Ming-Po Li, and Yi Jwo-Hwu, “Study on a solar tracking system: part II: the two-axis and one-axis tracking system”, Proceeding of the 25th symposium on electrical power engineering, pp. 2154-2159, 2004.
12. 黃秉鈞，蔘輔笙，廖偉承，高晨喬，” 集光式太陽光發電追蹤控制系統”， 2004 太陽能科技與產業發展研討會論文集，1~32 頁，2004。



圖一 不用馬達的氣囊式太陽能追日系統示意圖



圖二 具有導光裝置的太陽能系統示意圖